

บทที่ 2

คุณภาพอากาศภายในอาคาร

2.1 มลภาวะทางอากาศ

แหล่งกำเนิดของก๊าซและฝุ่นละอองในอากาศเป็นสาเหตุเบื้องต้นของปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคาร อัตราการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอจะเพิ่มระดับของมลพิษโดยการที่ไม่สามารถนำเอาอากาศภายนอกที่พอเพียงเข้ามาเจือจางภายในได้และในทางกลับกันก็ไม่สามารถนำเอามลพิษที่อยู่ภายในระบายไปภายนอกได้ อุณหภูมิและระดับความชื้นที่สูงยังช่วยเร่งความเข้มข้นของมลพิษอีกด้วย สาเหตุอยู่หลายๆ ประการที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในบ้านได้ เหล่านี้รวมไปถึงแหล่งกำเนิดของการเผาไหม้ (Combustion Source) เช่น น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม เคโรซีน (Kerosene) ถ่านหิน ไม้ และผลิตภัณฑ์จำพวกยาสูบ (Tobacco Products) วัสดุที่ใช้สร้างบ้านและอุปกรณ์ตกแต่งที่มีองค์ประกอบของแอสเบสตอส (Asbestos) พรหมที่ขึ้นและเปียก ลิ่นชักของเครื่องประดับตกแต่งบ้านที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อัด (Pressed Wood Products) ผลิตภัณฑ์สำหรับทำความสะอาด ระบบทำความเย็นและทำความร้อน ส่วนที่เป็นสาเหตุจากภายนอก เช่น เรดอน (Radon) ยาฆ่าแมลง (Pesticide) และมลพิษทางอากาศที่อยู่ภายนอก

2.1.1 การระบายอากาศไม่เพียงพอ สาเหตุหลักของมลภาวะ คือ การระบายอากาศที่มีคุณภาพไม่ดี จะเห็นได้จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานในช่วงปี พ.ศ.2543 มีการนำระบบ Variable Air Volume (VAV) ใช้ระบบปรับอากาศปกติ มักจะปิดเครื่องปรับอากาศช่วงกลางคืนและวันหยุดสุดสัปดาห์ ในอากาศที่มีความชื้นอยู่จะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ในท่อลมส่ง หากสกปรกจะทำให้เป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียและเชื้อราที่จะแพร่กระจายทั่วตึกเมื่อมีการเปิดเครื่องใช้งานอีกครั้ง

2.1.2 ระบบการกรองอากาศไม่เพียงพอ ระบบการกรองอากาศที่ไม่เพียงพอจะทำให้ก๊าซและอนุภาคต่าง ๆ เจือปนมาในระบบไหลเวียนของอากาศแล้ววนไปกระจายในอาคาร จึงอาจมากกว่าระดับปกติ หากผลของการเพิ่มระดับของสิ่งเจือปนในอากาศมีมากจะส่งผลเสียต่อผู้ที่อยู่อาศัยในอาคาร

2.1.3 ควันบุหรืในสภาพแวดล้อม (Environmental Tobacco Smoke, ETS) ควันบุหรืในสภาพแวดล้อมเป็นมลพิษที่อาจทำให้ผู้ที่อยู่อาศัยหายใจไม่สะดวก ควันบุหรืเป็นตัวการที่ทำลายสภาพแวดล้อมของระบบการระบายอากาศที่ออกแบบมาเป็นอย่างดี

2.1.4 วัสดุสังเคราะห์ หากการก่อสร้างและการตกแต่งห้องภายในอาคารมีการใช้วัสดุสังเคราะห์ก็จะเป็นแหล่งเกิดของก๊าซต่าง ๆ มากขึ้น เช่น Formaldehyde และ VOC เป็นต้น

2.1.5 ความไม่เพียงพอของมาตรฐานการกรองอากาศ มักจะเกิดขึ้นบ่อยครั้งกับนักออกแบบอาคารและผู้ควบคุมระบบปฏิบัติการในอาคารที่ไม่มีแนวทางในการควบคุมระบบการกรองอากาศ นอกจากนั้นแล้วยังเน้นเรื่องการประหยัดเงินจากการประหยัดพลังงานจนลืมนำถึงถึงคุณภาพอากาศ

2.2 สิ่งเจือปนภายในอาคาร

สิ่งเจือปนภายในอาคารเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ไม่เหมาะสมสำหรับผู้ที่อยู่อาศัย ชนิดของสิ่งเจือปนภายในอาคารสามารถแยกได้ดังนี้

2.2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่น ๆ

ก๊าซที่พบบ่อยภายในอาคารที่มีความสำคัญและผลกระทบต่อสุขภาพรวมทั้งคุณภาพอากาศภายในอาคารสามารถแยกกล่าวได้ดังนี้

ก. **ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์** เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิง ควันบุหรื และการเผาผลาญสารอาหารในร่างกาย โดยปกติก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะมีประมาณ 300 ppm (0.03 %) ในเมืองที่แออัดจะตรวจพบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สูงกว่า 400 ppm (0.04 %) และภายในอาคารอาจพบปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าภายนอกอาคาร โดยเฉพาะในโรงภาพยนตร์ (พิษณุ บุญนวล, 2541) ซึ่งแหล่งที่มาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอาคารที่สำคัญคือ คน โดยมาตรฐานกำหนดให้ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศไม่เกิน 1,000 ppm (0.10 %)

ข. **ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)** เป็นก๊าซที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ จึงเกิดมากในโรงงานที่ใช้ เครื่องยนต์ดีเซลที่มีอายุและบำรุงรักษาไม่ดี ตลอดจนเกิดมาจากรถยนต์ตามท้องถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่อันตรายต่อสุขภาพมาก เพราะเข้าสู่ร่างกายด้วยการสูดดมโดยไม่รู้ตัวเนื่องจากไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และยังมีมากกว่า

อากาศด้วย เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปจับรวมกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงแทนที่ออกซิเจน ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถถ่ายออกซิเจนได้ จึงเป็นพิษต่อร่างกาย โดยเฉพาะระบบประสาท เกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เชื่องซึม ซึ่พรอ่อน หายใจไม่สะดวก ผิวจะเป็นสีคล้ำ หัวใจเต้นเร็ว หมดสติ หรือชัก และเสียชีวิตในที่สุด ผู้ป่วยบางรายอาจมีไตวายเฉียบพลันร่วมอยู่ด้วย หากได้รับการรักษาไม่ทันท่วงทีจะมีความพิการของสมองและประสาทหลงเหลืออยู่เช่น ความจำถดถอย ซามือชาเท้า บุคลิกภาพและอารมณ์ผิดปกติ ถ้าสูดดมมากๆ อาจหมดสติได้โดยไม่แสดงอาการดังกล่าวก่อน

มาตรฐานของ EPA ประเทศสหรัฐอเมริกา และ WHO กำหนดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่เกิน 35 ppm สำหรับกรณีทีคนได้รับติดต่อกันไม่เกิน 1 ชั่วโมง

ก. ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงทำให้ก๊าซไนโตรเจนในอากาศที่พ่นเข้าไปใช้เพื่อการสันดาปรวมตัวกันกับออกซิเจนในรูปต่าง ๆ เช่น N₂O (ไนตริกออกไซด์) , NO (ไนโตรเจนออกไซด์) และ NO₂ (ไนโตรเจนไดออกไซด์) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบเกิดในฟาร์มอีกด้วย ก๊าซ N₂O จัดเป็นก๊าซที่เป็นยาเสพติด ก๊าซ NO ไม่มีสี แต่ก๊าซ NO₂ มีสีน้ำตาลซึ่งหากมีมากจะมองเห็น ก๊าซนี้เกิดจากการระเบิดแ่และหินด้วยเช่นกัน เพราะระเบิดแรงสูงจะเป็นพวกแอมโมเนียไนเตรต และไนโตรกลีเซอริน หากออกแบบการระเบิดไม่ดีจะเกิดก๊าซพิษทั้ง 3 ตัวลอยตัวอยู่บริเวณหินที่ระเบิด เพราะค่อนข้างหนัก หากมี NO₂ มากจะมองเห็นเป็นควันสีน้ำตาลนวลซึ่งปัญหามักมีมากในกรณีระเบิดอุโมงค์ หรือเหมืองใต้ดิน ก่อนทีคนงานจะเข้าไปในบริเวณที่ระเบิดต้องมีการฉีดสเปรย์น้ำก่อนเพื่อละลายก๊าซเหล่านี้ก่อนเพราะละลายง่าย ผลต่อสุขภาพของ NO₂ (ไนโตรเจนไดออกไซด์) เมื่อได้รับแก๊สปริมาณหนึ่งแล้วจะออกอาการไอ ผิวหนังอักเสบ หายใจขัด เสียชีวิต ถ้าได้รับผลกระทบ ต่อเนื่องนานเกิน 24 ชั่วโมง ผิวหนังและฟันจะเปลี่ยนสี การควบคุมควรให้มีแก๊สนี้ในบรรยากาศไม่เกิน 5 ppm. (9 มิลลิกรัม/ลบ.ม.)

หากสูดดม NO (ไนโตรเจนออกไซด์ Nitrous fume) ทีละน้อยมักไม่รู้สึกผิดปกติ แต่เมื่อก๊าซ นี้ถูกน้ำ หรือความชื้นในจมูกจะกลายเป็นกรด ซึ่งกัดเนื้อเยื่อต่างๆ โดยจะรู้สึกระคายเคืองในระยะแรกๆ หลังจากนั้น 2 - 10 ชั่วโมง จะมีอาการน้ำท่วมปอด ไอ คั่นคอ วิงเวียน ปวดศีรษะ หายใจลำบาก หากไปทำงานหรือออกกำลัง จะทำให้อาการทรุดหนัก ซึ่พรเดินเร็ว จากนั้นจะเข้าสู่ระยะที่สองเริ่มด้วยไอ หายใจไม่ออก พุดไม่ออก หน้าเขียว และหมดสติในที่สุด

ง. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่ติดไฟ มีกลิ่นฉุนแสบจมูก และทำให้แสบตา ทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ เมื่ออากาศมีความชื้นสูงมีโอกาสรวมตัวกันเป็นฝอยละอองกรด (Mist) ได้ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฝนกรด (Acid rain) แก๊สนี้เกิดจาก

การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเจือปน เช่น การเผาถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้า หรือเพื่อบ่มไบยาสูบ ฯลฯ หรือแม้กระทั่งการเผาน้ำมันเตา ซึ่งมีกำมะถันปนอยู่ด้วย และจากท่อไอเสียรถยนต์ หรือเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาณในบรรยากาศควรมีไม่เกิน 5 ppm.

อาการทั่วไปเมื่อได้รับก๊าซ คือ คลื่นเหียน อาเจียน หายใจติดขัด จนถึงตายจากการเกิดเกร็งของกล้ามเนื้อ

จ. เรดอน เรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่ไม่มีสีและกลิ่น เกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุเรดอนเนียมที่มีอยู่ในดินและแหล่งน้ำ ก๊าซเรดอนสามารถเข้าสู่อาคารได้โดยสิ่งสกปรกที่อยู่ตามพื้นอาคาร หรือมาจากรอยแตกตามกำแพงและพื้น หรือที่ทิ้งขยะภายในอาคาร สารเรดอนจะค่อย ๆ สะสมอยู่ภายในอาคารซึ่งอาจจะทำให้เกิดระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ที่อาศัยอยู่ได้รับอันตรายได้ ในความเป็นจริงทุกอาคารสามารถพบสารเรดอนได้ทั้งนั้นนั่นคือไม่ว่าจะเป็นอาคารที่สร้างใหม่หรือสร้างมานานแล้วก็มีโอกาสเกิดปัญหาจากสารเรดอนได้เหมือนกัน เมื่อระดับของเรดอนสูงขึ้นจะทำให้เกิดมะเร็งที่ปอดเนื่องจากเรดอนสามารถเกาะติดกับเนื้อเยื่อของปอดและไม่สลายตัวนอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่มีปริมาณสารเรดอนที่สูงกว่าปกติ ซึ่งทำให้เสี่ยงต่อการเป็นอันตรายมากกว่า

ฉ. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซไข่เน่า (H_2S) พบในโรงงานที่เกี่ยวข้องยาง โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานน้ำตาล ในเหมืองถ่านหิน โรงงานทำเครื่องกระป๋อง และทำสี ตลอดจนโรงกำจัดน้ำเสีย ลักษณะมีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่า ไม่มีสี จัดเป็นก๊าซพิษ เพราะจะไปรวมตัวกับเม็ดเลือด ทำให้ร่างกายไม่สามารถใช้ออกซิเจนได้

อาการเมื่อได้รับก๊าซในปริมาณน้อยจะรู้สึกแสบตา น้ำตาไหล แสบจมูก ร้อนคอ ไอ ปวดศีรษะ ชีพจรเต้นเร็วขึ้น ความดันลดลง หายใจถี่ขึ้น แล้วหมดสติ ถ้าช่วยแก้ไขได้ทันทีที่หมดสติก็จะฟื้นอันตราย แต่เมื่อสูดเข้าไปพักหนึ่ง ประสาทจะชา ทำให้ไม่ได้กลิ่นต่อไป ถ้าสูดเข้าไปมากๆ จะตายได้ภายใน 2 - 3 นาที เพราะหยุดหายใจ ปริมาณที่ยอมให้มีในบรรยากาศได้ ไม่เกิน 10 ppm.

2.2.2 ไอร์โระเหยสารประกอบอินทรีย์ (VOC) ไอร์โระเหยสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบที่สามารถระเหยได้ในบรรยากาศ สารเหล่านี้อาจทำให้เกิดอาการ แสบตา และเจ็บคอเป็นต้น เนื่องจากไอร์โระเหยสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ง่ายและเข้าสู่ปอด หรือผิวหนังได้อย่างรวดเร็วไอร์โระเหยสารประกอบอินทรีย์จะพบมากในอาคารที่เพิ่งตกแต่งใหม่โดยเฉพาะที่พรม น้ำยาทำความสะอาด สี แลคเกอร์ และกาว

2.2.3 อนุภาค อนุภาคเป็นสารที่มีความหลากหลายทางกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ อนุภาคที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (อนุภาคที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่นการไหลเวียนของอากาศ กระแสลมเป็นต้น อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2 – 3 นาที แต่อนุภาคที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปีอนุภาคในบรรยากาศอาจแยกได้เป็น

ก. อนุภาคที่มากับอากาศ อนุภาคจะถูกพัดพามากับอากาศ อาจเนื่องมาจากการพัดพาของลม หรือการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของ นอกจากนี้แรงต้านจากอากาศที่กระทำต่อพื้นผิวของอนุภาคต้องมีค่ามากกว่าแรงบนอนุภาคเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งแรงนี้จะขึ้นอยู่กับมวลของอนุภาค สำหรับอนุภาคของแข็งที่ลอยอยู่ในอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 1 ไมครอน จะตกลงสู่พื้นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกอย่างรวดเร็ว ทำให้อนุภาคในอากาศมีอัตราการเคลื่อนย้ายถึง 99.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.1 – 1 ไมครอน จะถูกเคลื่อนย้ายโดยการเคลื่อนที่ของอากาศแบบซ้ ๆ และสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 0.1 ไมครอน อนุภาคสามารถลอยอยู่ในอากาศได้อย่างอิสระถึงแม้จะไม่มีการเคลื่อนที่ของแรงต้านอากาศก็ตาม กลไกของการเคลื่อนที่นี้จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซในอากาศ ที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลก๊าซจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่มีทิศทางที่ไม่แน่นอน ทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลขึ้นและเกิดแรงดันซึ่งทำให้อนุภาคไม่ยอมตกลงสู่พื้นเรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion)

อนุภาคจะถูกจับหรือเกาะติดกับวัตถุต่าง ๆ โดยกลไกที่สำคัญ 5 กลไก คือ กลไกการแพร่ กลไกการขัดขวาง กลไกการกระทบ การตกเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและแรงดึงดูดทางไฟฟ้า

ข. ก๊าซและไอ สิ่งปนเปื้อนในอากาศไม่ได้จำกัดอยู่ที่อนุภาคขนาดเล็กเท่านั้นแต่อาจจะอยู่ในรูปของไอหรือก๊าซ การปนเปื้อนของก๊าซเกิดขึ้นเนื่องจากก๊าซเคลื่อนที่ในอากาศโดยการผสมหรือโดยการแพร่ การเคลื่อนที่เนื่องจากการผสมนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็ว ความปั่นป่วนหรือการไหลของอากาศ ส่วนการเคลื่อนที่เนื่องจากการแพร่จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของก๊าซในอากาศซึ่งแล้วแต่ชนิดของก๊าซและความเข้มข้น สำหรับก๊าซที่ผสมในเนื้อวัตถุนั้นอาจจะเกิดปฏิกิริยา เช่น การออกซิเดชันที่พื้นผิวของวัตถุ ถือว่าเป็นการปนเปื้อนที่เกิดจากก๊าซได้ ส่วนไอจะควบแน่นเป็นแผ่นของเหลวบาง ๆ เกาะอยู่บนพื้นผิว

ค. ขนาดของอนุภาค เป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการศึกษาวงจรชีวิตของอนุภาค เพราะคุณสมบัติทั้งหมดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ไม่เพียงแต่คุณสมบัติจะเปลี่ยนตามขนาดของอนุภาคแล้วแต่ลักษณะต่าง ๆ ตามธรรมชาติของอนุภาคก็เปลี่ยนตามขนาดของอนุภาคด้วย สำหรับช่วงขนาดของอนุภาคและชนิดของอนุภาคแสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ช่วงขนาดของอนุภาค

Measurement Scale	Particle Diameter (micron)							
	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000
	1 Angstrom	1 μm 10 ⁻⁶ m	10 μm 10 ⁻⁵ m	100 μm 10 ⁻⁴ m	10 ³ μm 10 ⁻³ m	10 ⁴ μm 10 ⁻² m	10 ⁵ μm 10 ⁻¹ m	10 ⁶ μm 10 ⁰ m
Designated Size Ranges		← Nanometer →	← Submicrometer →	← Micrometer →				
		← Ultrafine →	← Fine →	← Coarse →				
		← Free Molecule →	← Transition →	← Continuum Region →				
Aerosol Definitions			← Furne →	← Fog, Mist →				
			← Smog →	← Spray →				
			← Smoke →	← Cloud Droplets →				
Typical Aerosol Size Ranges			← Metal Fumes →	← Cement Dust →				
			← Sea Salt Nuclei →	← Coal Dust →				
			← Oil Smoke →	← Coal Fly Ash →				
			← Machining Fluids →					
			← Tobacco Smoke →	← Paint Spray →				
			← Diesel Smoke →	← Coarse Particle Mode →				
Atmospheric Aerosol			← Nuclei →	← Accumulation Mode →				
Typical Bioaerosol Size Ranges			← Viruses →	← Bacteria →	← Pollen →			
				← Fungal Spores →				
Sampling Definitions			← PM-10 →					
			← PM-2.5 →					
			← Thoracic Particles →					
			← Respirable Particles →					
Wavelength of Electromagnetic Radiation			← Ultraviolet →	← Visible →	← Infrared →			
			← X-Ray →	← Solar →				
Other		← Gas Molecules →	← Mean Free Path (STP) →	← Red Blood Cell →				
			← Proteins →		← Human Hair →			
					← Visible to Eye →			

ที่มา: Hinds (1999)

ง. แหล่งที่มาของอนุภาค ที่มาของอนุภาคแบ่งออก ได้ดังนี้ คือ จากธรรมชาติภายนอก จากอุตสาหกรรมภายนอก จากมนุษย์ จากอุปกรณ์ในโรงงาน จากวัสดุผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ตลอดจนการปฏิบัติงานที่ไม่สมควร

ง.1 จากธรรมชาติภายนอก: สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติเป็นแหล่งที่ใหญ่ที่สุดของอนุภาค และการปนเปื้อนจากก๊าซ อนุภาคอาจประกอบไปด้วยธาตุต่าง ๆ มากมาย แต่โดยส่วนมากจะอยู่ในรูปของซิลิกา เนื่องจากเป็นธาตุที่มีมากที่สุดบนเปลือกโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณทะเลสาบหรือทะเลทราย ซึ่งอนุภาคในบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกา นอกจากนี้ พืชยังเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนได้ เช่น ในระหว่างกระบวนการผสมเกสร ชากพืช ชากสัตว์ที่ตายแล้วซึ่งเป็นแหล่งของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่สามารถส่งสปอร์หรือแบคทีเรียขึ้นไปในอากาศได้

ง.2 จากอุตสาหกรรมภายนอก: ชนิดของสิ่งปนเปื้อนที่มาจากจากอุตสาหกรรมที่มีมากที่สุด คือ ฝุ่นเถ้าลอย (Fly Ash) และอนุภาคคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล

ง.3 จากตัวบุคคล : คนคือแหล่งกำเนิดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ภายในบริเวณสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ สิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากคนส่วนมากจะเป็นพวกสะเก็ดผิวหนัง เส้นผม โปรดิน รวมไปถึงเครื่องสำอางต่าง ๆ ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน นอกจากนี้การหายใจก็สามารถสร้างอนุภาคปนเปื้อนได้เป็นอย่างมาก

ง.4 จากอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ : อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมไปถึงวัสดุในโรงงานและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์ และชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นส่วนของพวกนี้ขึ้นมา สามารถสร้างสิ่งปนเปื้อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีแรงเสียดทานเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ลูกสูบหรือส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เคลื่อนไหวไปมาระหว่างผิวสัมผัส จะสร้างอนุภาคขึ้นมาเนื่องจากการขัดถู สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่เคลื่อนไหวก็สามารถสร้างสิ่งปนเปื้อนได้ เช่น วัสดุที่ทาสี เมื่อสีแห้งจะเริ่มตกเป็นสะเก็ดและหลุดออกมา

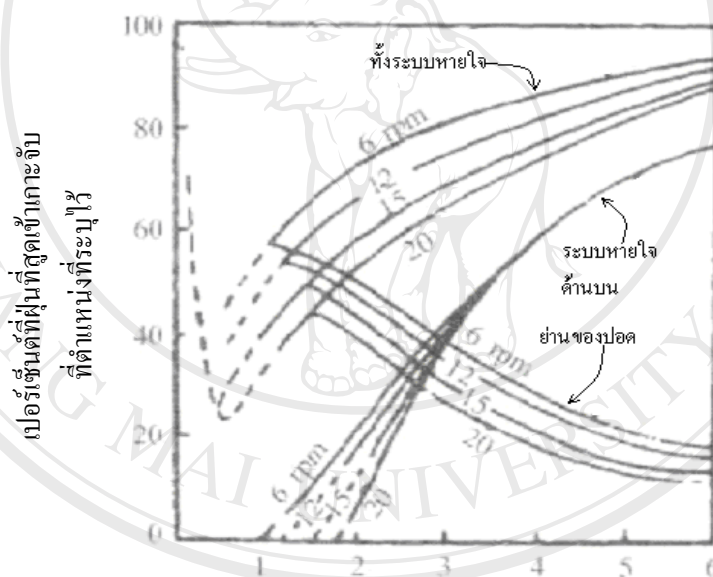
ง.5 จากวัสดุผลิตภัณฑ์และกระบวนการ: การนำวัสดุเข้าไปในบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์อยู่สามารถเกิดการปนเปื้อนได้เนื่องจากวัสดุที่นำเข้าไป เช่น อนุภาคที่เกาะอยู่ที่ท่อของวัสดุซึ่งจะค่อย ๆ เพิ่มความสกปรกขึ้นในขณะที่ขนส่งหรือตอนอยู่ในโกดังได้

ง.6 จากการปฏิบัติงานที่ไม่สมควร: ตัวอย่างง่าย ๆ คือ การไม่ทำความสะอาดอุปกรณ์ ไม่เก็บสิ่งของที่ตกหล่น ไม่มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ เป็นต้น

จ. ผลกระทบของอนุภาค เมื่อมลสารในรูปก๊าซและอนุภาคอยู่ร่วมกันจะมีผลกระทบที่ร้ายแรงเมื่อถูกหายใจเข้าไปในรูปของผสมมากกว่าในรูปของก๊าซและอนุภาคแยกกัน นั่นคือ มลสาร

สองชนิดสามารถเพิ่มความรุนแรงของผลร้ายของแต่ละตัว ผลกระทบของสารอนุภาคต่อร่างกายมนุษย์ จะขึ้นกับขนาดของอนุภาค ตลอดจนความเข้มข้นและองค์ประกอบเคมีของมลสาร

ดังแสดงในรูปที่ 2-1 อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 5 ไมครอน ส่วนใหญ่จะถูกจับที่ส่วนบนของทางเดินระบบหายใจ และเกาะติดอยู่ที่นั่น ในทางตรงข้าม อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ไมครอน จะเกาะติดที่ส่วนล่างของทางเดินระบบหายใจได้ง่ายกว่าที่ส่วนบน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อนุภาคขนาด ประมาณ 1 ไมครอน จะเกาะที่ส่วนล่างของทางเดินระบบหายใจได้ง่ายมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดเล็กลงอีก ระดับการเกาะติดในทางเดินระบบหายใจจะลดน้อยลงจนกระทั่งถึงขนาดเล็กมาก เมื่อเลขขนาดนี้ลงไปอีก ระดับการเกาะติดจะกลับเพิ่มขึ้นอีก อนุภาคที่เกาะติดบนผนังของทางเดินระบบหายใจจะถูกขับออกไปที่คอ โดยการเคลื่อนไหวของเส้นขน (Cilia) บนผนังแล้วรวมตัวเป็นเสมหะ (Sputum)



เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าเชิง Impact - $\sqrt{od}^2$ ไมโครเมตร

รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและความถี่ที่หายใจ (rpm) กับอัตราส่วนและตำแหน่งที่จับอนุภาค

ที่มา: ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ และคณะ (2542)

อนุภาคที่เกาะติดในถุงอากาศ (Alveoli) ซึ่งไม่มีเส้นขน (Cilia) จะเข้าไปในเยื่อของปอด และบางครั้งก็ก่อให้เกิดโรค Pneumoconiosis

2.3 วิธีการควบคุมสิ่งเจือปนภายในอาคาร

สิ่งเจือปนภายในอาคารหากมีในปริมาณที่มากกว่ามาตรฐานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ การควบคุมสิ่งเจือปนภายในอาคารให้มีอยู่ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายแก่ผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคารนั้น ๆ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในการควบคุมสิ่งเจือปนภายในอาคารสามารถทำได้ดังนี้

2.3.1 กำจัดหรือปรับปรุงแหล่งกำเนิด

เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการลดสิ่งเจือปน และเป็นวิธีการโดยตรงที่จะไม่ทำให้สิ่งเจือปนเกิดขึ้นใหม่จากคนที่อาศัยอยู่หรือลดกิจกรรมที่กระทำในอาคาร สำหรับอาคารที่สร้างใหม่ได้มีการออกแบบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่เป็นต้นเหตุของการปล่อยก๊าซพิษ นอกจากนี้การลดปริมาณการสูบบุหรี่ภายในอาคารก็จะเป็นการเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคารให้ดีขึ้นด้วย หรือในอาคารบางแห่งที่ได้จัดพื้นที่สำหรับสูบบุหรี่เอาไว้เพื่อที่จะจำกัดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด

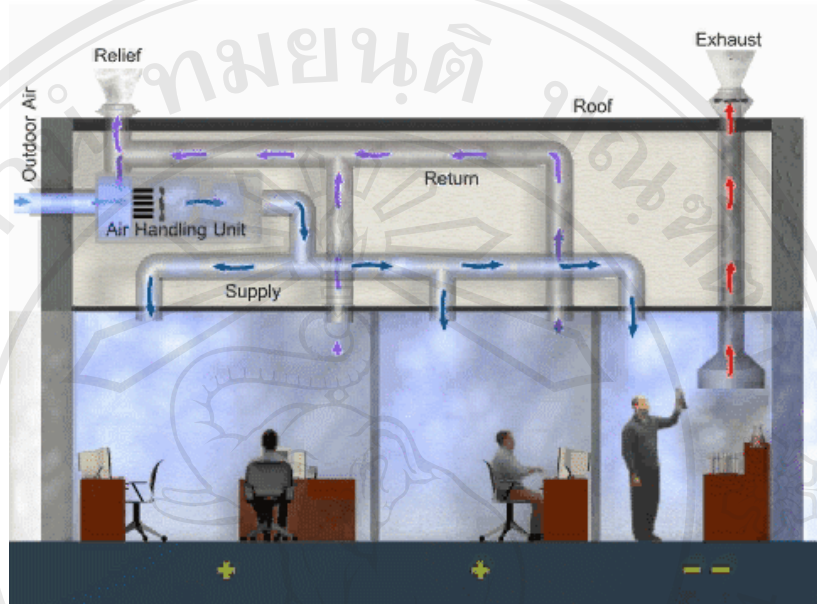
2.3.2 ใช้อากาศจากภายนอกเข้ามาเจือจาง

อากาศที่นำเข้ามาเจือจางสิ่งเจือปนภายในอาคาร คืออากาศที่นำเข้ามาในห้องเพื่อใช้ในการระบายอากาศ โดยอากาศส่วนหนึ่งนำมาจากภายนอกอาคารและอีกส่วนหนึ่ง คืออากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ ในอาคารที่มีคนอาศัยอยู่เป็นเวลานานจะต้องมีการนำอากาศจากภายนอกเข้ามาเพื่อรักษาคุณภาพอากาศ ซึ่งต้องทำให้อากาศภายนอกอยู่ในสภาวะปกติก่อนที่จะนำเข้ามาภายในอาคาร ในบางกรณีความต้องการอากาศเพื่อใช้ในการระบายอากาศเพื่อที่จะรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีมีน้อยกว่าความต้องการที่จะนำมาใช้เพื่อทำให้เกิดความสบาย ในหลาย ๆ สถานที่อัตราการนำอากาศเข้ามาจะถูกจำกัดโดยความต้องการของการระบายอากาศ เพื่อรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร

2.3.3 การกระจายอากาศ

อากาศภายในห้องจะต้องสามารถไหลเข้าไปในบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-2 การกระจายอากาศภายในห้องจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะ โครงสร้างและ ระดับอุณหภูมิภายในห้องนั้น แหล่งกำเนิดของสิ่งเจือปนสามารถจำกัดได้โดยนำก๊าซออกไปจากห้องก่อนที่จะแพร่กระจายไปยังส่วนที่มีคนอาศัยอยู่ หรือควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ โดยประยุกต์ใช้ความดันต่างจากพัดลมดูดอากาศหรือโดยควบคุมตำแหน่งของการกระจายลมเข้าและการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยในการออกแบบจะต้องเอาใจใส่วิธีการควบคุม และต้องคำนึงในส่วนของการไหลเข้ามาของอากาศเนื่องจากอากาศไม่สามารถไหลเข้ามาโดยตรงจากการดูดอากาศเพียงอย่าง

เดียว โดยที่ตำแหน่งของอากาศที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ หรือตำแหน่งของการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ ถ้าหากติดตั้งใกล้แหล่งกำเนิดสิ่งเจือปนจะทำให้ไม่สามารถนำสิ่งเจือปนออกไปก่อนที่จะผ่าน บางส่วนของอาคารที่มีคนอาศัยอยู่



รูปที่ 2-2 การกระจายอากาศ

ที่มา : www.islandcleanair.biz/clean.html

2.3.4 การฟอกอากาศ

การที่มีอากาศไหลวนจะทำให้ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องนำเข้ามาจะมีปริมาณลดลง สารปนเปื้อนบางอย่างที่เป็นก๊าซอาจจะได้รับการฟอกไม่เพียงพอกจากการหมุนเวียนอากาศ มันอาจจะสะสมอยู่ในพื้นที่ที่ใช้สอย จนกระทั่งระดับความเป็นพิษเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ดังนั้นคุณภาพอากาศในอาคารที่ยอมรับได้จะต้องมาจากวิธีการเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคาร

2.4 ชนิดของการระบายอากาศ

จุดประสงค์ในการระบายอากาศภายในอาคารก็คือ เพื่อระบายกลิ่นจากร่างกายคนเรา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นในอากาศ ฝุ่นละออง ไอหรือควัน และความร้อนในส่วนที่หลงเหลืออยู่ โดยจะเติมอากาศบริสุทธิ์เข้าไปแทนที่ในอาคารอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้จะต้องไม่ทำให้คนที่อยู่ภายในอาคารเกิดความรำคาญต่อกระแสลมที่เข้ามาปะทะ แต่อย่างไรก็ตามอากาศที่ใช้ระบายในระบบระบายอากาศนั้นต้องมีความเร็วลมที่พอเหมาะและไม่ช้าเกินไป ซึ่งจะทำให้รู้สึกอึดอัดได้

ภายใต้ภาวะปกติสำหรับบุคคลทั่วไป จะกำหนดความเร็วลมที่พอเหมาะไว้ระหว่าง 0.15 และ 0.5 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมอาจจะสูงกว่านี้ถ้าอยู่ภายใต้ภาวะการทำงานค่อนข้างหนัก

2.4.1 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation)

การถ่ายเทอากาศแบบธรรมชาติในอาคารเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความดันอากาศภายในและภายนอกอาคาร ความแตกต่างของความดันนี้จะทำให้เกิดลมพัดจากภายนอกสู่ภายในอาคาร โดยผ่านช่องเปิดต่าง ๆ (Openings) อัตราการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดในตัวอาคารจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ความแตกต่างของความดัน (Pressure Difference) ระหว่างภายในและภายนอกอาคาร และความต้านทานของช่องเปิด (Resistance Opening Coefficient) เหล่านี้ต่อการไหลผ่านของอากาศ (Croome and Roberts, 1980)

ก. ความแตกต่างของความดัน (Pressure Difference)

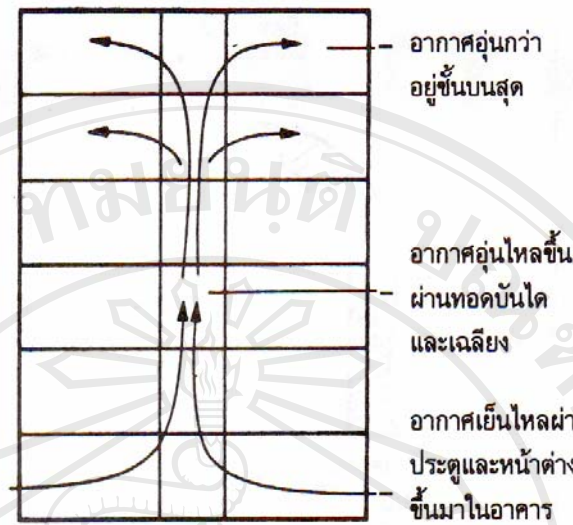
ผลของขนาดของความแตกต่างของความดันจะขึ้นอยู่กับสาเหตุสำคัญ 2 อย่างคือ ผลจากแรงลม ผลจากอุณหภูมิแตกต่าง และผลจากทั้งกระแสลมและการลอยตัวของอากาศ (Eastop and Watson, 1981)

ก.1 ผลจากแรงลม (Wind Effect)

ลมเกิดจากแตกต่างของความดันในชั้นบรรยากาศ และถ้าทิศทางลมมีสิ่งที่มาขวางกั้น เช่น ต้นไม้ และอาคารบ้านเรือน ก็จะเกิดพลังงานไปกระทำกับสิ่งของนั้น ๆ พลังงานจลน์ของลมที่พัดมาจะเปลี่ยนไปเป็นความดัน (Velocity Pressure) ดังนั้นด้านที่รับลมจะมีความดันมากขึ้นมีค่าประมาณ 0.5 - 0.8 เท่าของความเร็วลม ในขณะที่ด้านใดลมจะมีค่าความดันน้อยกว่ามีค่าประมาณ 0.3 - 0.4 เท่าของความเร็วลม ค่าความแตกต่างของความดันลมนี้ทำให้มีการไหลของอากาศผ่านหน้าต่าง ประตู และช่องเปิดอื่น ๆ

ก.2 ผลของแรงลอยตัว (Stack Effect)

ผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของอากาศสองบริเวณ ทำให้อากาศทั้งสองบริเวณดังกล่าวแตกต่างกันเกิดแรงขับอากาศให้เคลื่อนที่ โดยอากาศที่ร้อนจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนเพราะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่า และอากาศที่เย็นกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ (ดังแสดงในรูปที่ 2-3) ซึ่งเป็นอากาศจากภายนอก ดังนั้นความดันที่อากาศไหลเข้ามาระหว่างหรือไหลออกไป จะมีผลกระทบต่อกระแสลม



รูปที่ 2-3 กระแสอากาศไหลขึ้นด้านบนด้วยผลของแรงลอยตัวในอาคารสูง
ที่มา : มนตรี พิรุณเกษตร (2546)

ก.3 ผลจากทั้งกระแสลมและแรงลอยตัว (Combined Wind and Stack Effects)

ในการเกิดการถ่ายเทอากาศอาจจะเกิดจากผลของแรงลมและผลจากอุณหภูมิแตกต่างในเวลาเดียวกันก็ได้

ข. ความต้านทานของช่องเปิด (Resistance Opening Coefficient)

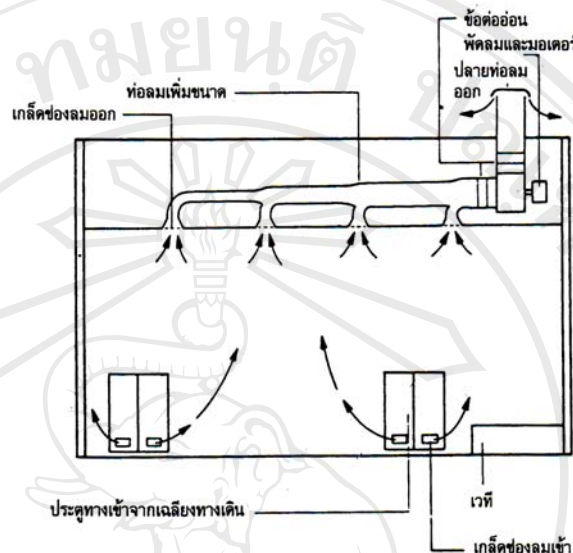
ผลของขนาดของความต้านทานของช่องเปิดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องเปิดและส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น มุ้งลวด (Insect Screen) เป็นต้น

2.4.2 การระบายอากาศโดยอาศัยเครื่องมือกล

ระบบระบายอากาศโดยอาศัยเครื่องมือกลนี้ แรงขับกระแสอากาศให้ไหลเวียนผ่านระบบโดยพัดลมซึ่งสามารถควบคุมปริมาณลมพลัดได้ตามที่ต้องการและกระแสอากาศสามารถไหลผ่านฟิลเตอร์ได้อย่างสม่ำเสมอ ระบบระบายอากาศโดยอาศัยเครื่องมือกลแบ่งออกเป็นระบบดังนี้

ก. ระบบที่ดูดลมออกโดยเครื่องมือกลอย่างเดียว (Exhaust System) ระบบระบายอากาศโดยอาศัยเครื่องมือกลแบบนี้จะติดตั้งชุดพัดลมไว้ทางลมออก จึงทำให้ในตัวอาคารหรือห้องมีความดันเป็นลบเล็กน้อย อากาศภายในตัวอาคารจะไหลเข้าสู่โบลว์เออร์พัดลม อากาศภายนอกถูกดึงผ่านทางลมเข้าและเข้ามาแทนที่ (ดังแสดงในรูปที่ 2-4) ซึ่งแบบนี้นิยมใช้กับโรงครัว โรง

ปฏิบัติการ (Work Shops) ห้องทดลอง ห้องน้ำห้องส้วมในอพาร์ทเมนต์ ห้องโถง และโรงรถ เป็นต้น

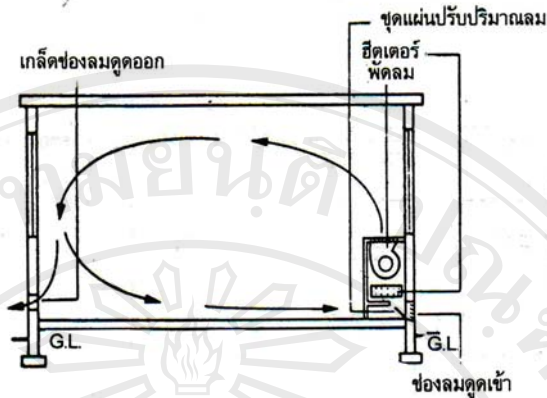


รูปที่ 2-4 ระบายอากาศออกโดยอาศัยเครื่องมือกล
ที่มา : มนตรี พิรุณเกษตร (2546)

ข. ระบบท่อดูดลมเข้าทางกลอย่างเดียว ระบบระบายอากาศแบบนี้จำเป็นต้องการระบายอากาศภายในโรงหม้อไอน้ำ สำนักงาน และโรงงานในบางลักษณะ สิ่งจำเป็นในการทำให้กระแสอากาศเดินไหลเวียนจากด้านบนลงด้านล่างนั้นคือ ต้องให้ความร้อนกับอากาศตรงทางเข้าก่อนนำเข้าตัวอาคารหรือห้อง โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์เข้ากับด้านบนคานฝ้าของตัวอาคาร

ค. ระบบท่อดูดลมเข้าและออกโดยอาศัยเครื่องมือกล ระบบระบายอากาศแบบนี้เป็นระบบที่ให้ผลดีที่สุดในราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้กับโรงละคร โรงหนัง สำนักงาน ห้องโถงเดินรถ ภัตตาคาร ห้างสรรพสินค้า และศูนย์กีฬาต่าง ๆ

ลักษณะของระบบระบายอากาศแบบนี้ก็คือ จะติดตั้งพัดลมดูดเข้าและเป่าออกแยกกันต่างหากสองชุดดังรูปที่ 2 - 5 เมื่อนำอากาศร้อนไหลเวียนกลับมาใช้อีกจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายลง โดยพบว่า การออกแบบชุดคอมไฟท์ทางดูดลมออกนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคอมไฟท์ประมาณ ร้อยละ 14 ระบบระบายอากาศในลักษณะนี้จะทำให้อากาศภายในอาคารหรือห้องมีความดันสูงกว่าภายนอกเล็กน้อย ซึ่งสามารถกระทำได้โดยเลือกใช้พัดลมดูดออกที่มีขนาดเล็กกว่าพัดลมดูดเข้า ทั้งนี้ต้องระวังเรื่องปัญหาการรั่วของอากาศผ่านช่องประตูหรือหน้าต่าง จึงต้องซีลประตูหรือหน้าต่างให้ดี หรือถ้าหากเลือกใช้ประตูแบบสวิงได้ก็จะเหมาะสมกว่า



รูปที่ 2 - 5 ชุดพัดลมดูดเข้าและออกแยกกันต่างหากสองชุด

ที่มา : มนตรี พิรุณเกษตร (2546)

2.5 หลักการและทฤษฎีของการคำนวณเชิงตัวเลขของพลศาสตร์ของไหล

2.5.1 สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

สมการนี้ได้มาจากการเขียนสมการสมดุลมวลของปริมาตรควบคุมตามกฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) ซึ่งกล่าวไว้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลภายในปริมาตรควบคุมจะเท่ากับผลต่างของการไหลของมวลที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \quad (2.1)$$

โดยสมการนี้สามารถเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ได้เป็น

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.2)$$

เมื่อ

$$\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg / m^3)

u คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน x (m/s)

v คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน y (m/s)

w คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน z (m/s)

t คือ เวลา (s)

$\vec{V}$ คือ เวกเตอร์ความเร็วของการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ

2.5.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการอนุรักษ์โมเมนตัมมีที่มาจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน (Newton's Second Law) ซึ่งมีใจความว่า ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมจะต้องเท่ากับ ผลรวมของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุม (อัตราการไหลเข้าออกสุทธิของโมเมนตัม) โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad (2.3a)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad (2.3b)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho f_z \quad (2.3c)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นตึงฉาก (N/m^2)

τ คือ ความเค้นเฉือน (N/m^2)

f คือ แรง (N)

สมการ (2.3) เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ของการอนุรักษ์โมเมนตัม หรือเรียกอีกอย่างว่า สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) ในรูปแบบอนุรักษ์ (Conservation form) โดยตั้งสมมติฐานว่าของไหลเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) กล่าวคือสามารถนำกฎความเสียดทานของสโตกส์ (Stokes's Law) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดภายในของไหลมาประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

$$\sigma_x = -\frac{2}{3}\mu\nabla \cdot \vec{V} + 2\mu\frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.4a)$$

$$\sigma_y = -\frac{2}{3}\mu\nabla \cdot \vec{V} + 2\mu\frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.4b)$$

$$\sigma_z = -\frac{2}{3}\mu\nabla \cdot \vec{V} + 2\mu\frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.4c)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu\left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right] \quad (2.4d)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu\left[\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}\right] \quad (2.4e)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (2.4f)$$

เมื่อ μ คือ ความหนืด (kg / m.s)

2.5.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Equation)

สมการนี้มีที่มาจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) ที่กล่าวว่า ผลรวมของพลังงานที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุมกับพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นจะเท่ากับผลรวมของพลังงานที่ถ่ายเทออกจากปริมาตรควบคุมกับพลังงานที่ถูกสะสมในปริมาตรควบคุม โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \rho \frac{D}{Dt} \left(e + \frac{V^2}{2} \right) = \rho \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial(up)}{\partial x} + \frac{\partial(vp)}{\partial y} + \frac{\partial(wp)}{\partial z} \right) \\ + \frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} \\ + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V} \end{aligned} \quad (2.5)$$

เมื่อ e คือ พลังงาน (J)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m².K)

$\dot{q}$ คือ Heat Flux (J/m²)

T คือ อุณหภูมิ (K)

2.5.4 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล

แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล เป็นการสร้างแบบจำลองของการไหลของของไหลด้วยการใช้วิธีการเชิงตัวเลขมาคำนวณสมการควบคุมการไหล ที่อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (PDEs) ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 ซึ่งสมการการไหลดังกล่าวข้างต้น สามารถใช้ได้กับการไหลทุกชนิด ดังนั้นคำตอบสำหรับการไหลแต่ละกรณีนั้นจะแตกต่างกันเนื่องจากสภาวะขอบเขต (Boundary Conditions) ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามกรณีของการไหล ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. Steady State Problems (Equilibrium Problems) ปัญหาประเภทนี้จะถูกควบคุมด้วยสมการ Elliptic

ข. **Marching Problems (Transient Problems)** ปัญหาประเภทนี้จะถูกควบคุมด้วยสมการ Parabolic หรือสมการ Hyperbolic

ค. กระบวนการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหล

การวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการไหล เช่น การไหลของอากาศในห้องปรับอากาศ หรือ ปัญหาอื่น ๆ ผลลัพธ์ที่เกิดจากการวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือองค์ประกอบใหญ่ ๆ 3 องค์ประกอบ กล่าวคือ (ก) ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้น (ข) เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) สำหรับปัญหาที่ทำการศึกษานั้น และ (ค) ลักษณะรูปทรง (Geometry) ของปัญหานั้น ๆ ทั้ง 3 องค์ประกอบนี้ หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ความเข้าใจโดยลึกซึ้งในองค์ประกอบทั้งสามนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการคำนวณความสำคัญในแต่ละองค์ประกอบที่จำเป็นต้องทำความเข้าใจ คือ (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2545)

ค.1 สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ปัญหาในทางวิศวกรรมต่างมีความลึกซึ้งของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการไหลนั้นจำเป็นต้องเริ่มจากระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่แสดงถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน เป็นต้น สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเหล่านี้ ล้วนประกอบด้วยพจน์ต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปเชิงอนุพันธ์ (Derivative Terms)

ค.2 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ในกระบวนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นเงื่อนไขขอบเขตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน หากปัญหาที่ทำการวิเคราะห์เป็นปัญหาแบบไม่อยู่ตัว (Unsteady) เงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Conditions) จำเป็นต้องถูกประยุกต์เข้าด้วยกัน ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับปัญหาการไหลในทางการคำนวณนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสมการเชิงอนุพันธ์ว่าเป็นแบบเอลลิปติก (Elliptic) พาราโบลา (Parabolic) หรือไฮเพอร์โบลา (Hyperbolic) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหล

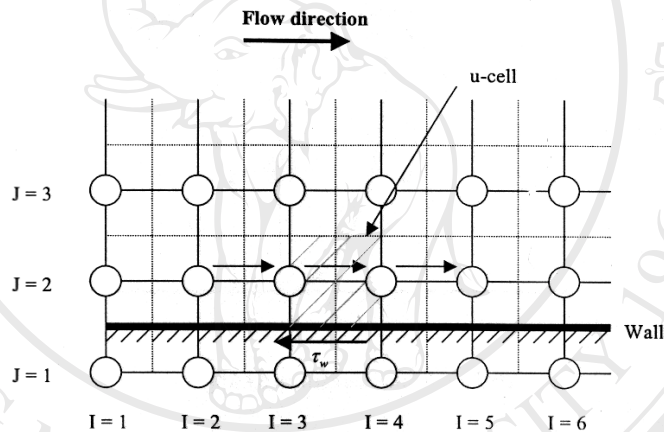
การใช้แบบจำลองของของไหลในการแก้ปัญหาคำนวณต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น เนื่องจากสภาพทางกายภาพของปัญหาที่จำลองมาจะขึ้นกับ

การกำหนดเงื่อนไขเหล่านี้ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเงื่อนไขขอบทั่วไปโดยแบ่งเงื่อนไขเป็นสองประเภทใหญ่ๆคือ เงื่อนไขขอบที่ผนังและเงื่อนไขขอบแบบสมมาตร

ค.1.1 เงื่อนไขขอบที่ผนัง (Wall Boundary Condition)

ผนังเป็นเงื่อนไขขอบที่พบในปัญหาการไหลทั่วไป โดยอาจแบ่งเงื่อนไขขอบชนิดนี้เป็นเงื่อนไขย่อยหลายประเภท ซึ่งในที่นี้จะใช้ผนังที่ขนานกับแกน x ดังแสดงในรูปที่ 2-6 ในการศึกษา

เงื่อนไขที่ไม่มีการลื่นไถล (No-Slip Condition; $u=0, v=0$) เป็นเงื่อนไขการประมาณของความเร็วที่ผิวของแข็ง โดยความเร็วที่ขอบเขต ($j=1$) มีค่าเท่ากับศูนย์ และปริมาตรควบคุมที่อยู่ติดผนังมีค่า $a_s=0$ เนื่องจากการไม่มีการคำนวณ Pressure Correction ที่ตำแหน่งนี้



รูปที่ 2-6 ปริมาตรควบคุมที่ผนัง
ที่มา : สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2545)

เงื่อนไขขอบผนังสำหรับการไหลแบบราบเรียบ เราจะพบว่าบริเวณผนังมีความเค้นเฉือนในแนว u มีค่าเป็น

$$\tau_w = \mu \frac{u_p}{\Delta y_p} \quad (2.8)$$

เมื่อ Δy_p คือ ผลต่างระยะจากพื้นถึงจุด P

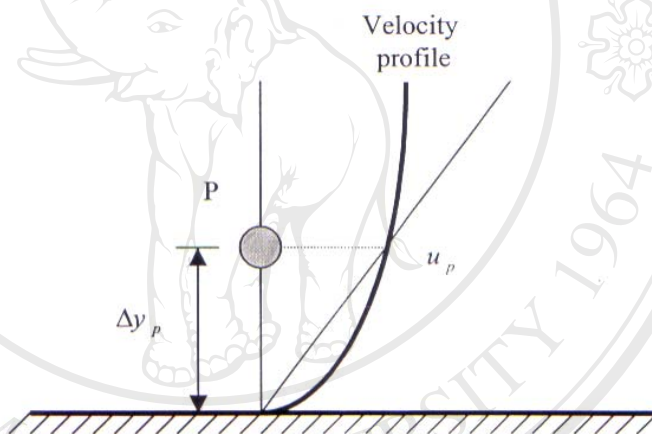
จาก Velocity Profile ในรูปที่ 2-7 ถ้าให้ u_p คือค่าความเร็วที่ Node ซึ่งเป็นการประมาณค่าที่พิจารณาบริเวณใกล้ผิว และให้ค่าความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงเป็นความสัมพันธ์เส้นตรงเมื่อเทียบกับระยะทาง จะได้แรงเฉือนมีค่าเป็น

$$\begin{aligned}
 F_s &= -\tau_w A_{cell} \\
 &= -\mu \frac{u_p}{\Delta y_p} A_{cell}
 \end{aligned}
 \quad (2.9)$$

เมื่อ F_s คือ แรงเฉือน (N)

โดยที่ A_{cell} คือพื้นที่ผนังของปริมาตรควบคุม ดังนั้นสามารถใส่เทอมของแรงเฉือนนี้เข้าไปใน Source Term ของ u และสามารถเขียน Source Term นี้ได้เป็น

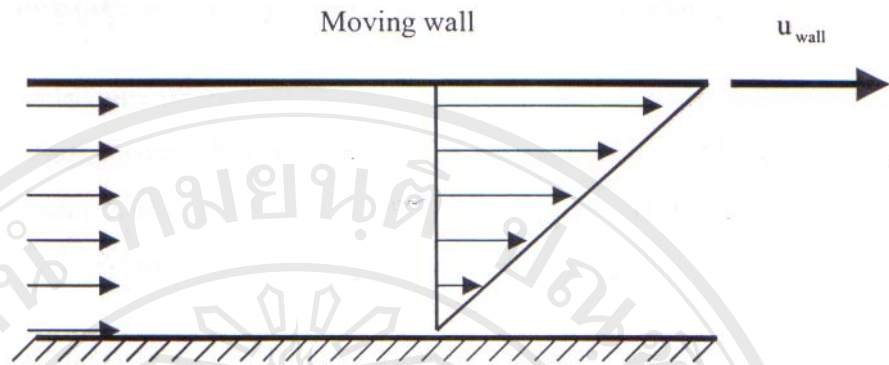
$$S_p = -\frac{\mu}{\Delta y_p} A_{cell} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2-7 การกระจายตัวของความเร็วที่ผนัง
ที่มา : สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2545)

เงื่อนไขขอบสำหรับผนังที่มีการเคลื่อนที่ ถ้าสมมติให้ผนังที่มีการเคลื่อนที่ (Moving Walls) นี้ มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน x ดังรูปที่ 2-8 จะทำให้ของไหลมีการเคลื่อนที่เนื่องจากความเค้นเฉือนที่ผนัง ซึ่งค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นนั้นมาจากความแตกต่างระหว่างความเร็วที่ Node ในแนวแกน y ก่อนถึงผนัง กับความเร็วของผนังเคลื่อนที่ ดังนี้

$$F_s = -\mu \frac{(u_p - u_{wall})}{\Delta y_p} A_{cell} \quad (2.11)$$



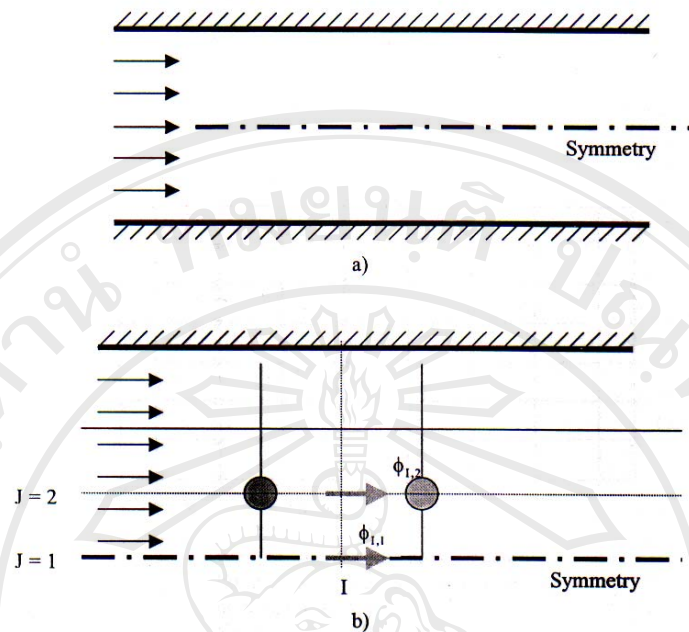
รูปที่ 2-8 ลักษณะของผนังเคลื่อนที่
ที่มา : สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2545)

ค.1.2 เงื่อนไขขอบแบบสมมาตร (Symmetric Boundary Condition)

ในการแก้ปัญหามีลักษณะรูปร่างสมมาตร การคำนวณโดยใช้โดเมนทั้งหมดจะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์โดยใช้เหตุ การกำหนดเงื่อนไขที่สมมาตรจะช่วยให้ทำการคำนวณได้รวดเร็วขึ้น ซึ่งการกำหนดขอบเขตแบบนี้สามารถทำได้โดยกำหนดเงื่อนไขที่ว่าไม่มีการไหลและไม่มีฟลักซ์ผ่านขอบเขต นั่นคือกำหนดค่าความเร็วในแนวตั้งฉากกับขอบเขตที่สมมาตรให้มีค่าเป็นศูนย์ ($v=0$) และให้ค่าของตัวแปรบนขอบผนังมีค่าเท่ากับตัวแปรนั้นบนเซลล์ที่ติดขึ้นมาจากผนัง ($\phi_{1,1}=\phi_{1,2}$) ดังแสดงในรูปที่ 2-9

นอกจากการกำหนดเงื่อนไขขอบแบบสมมาตรแล้ว ยังมีเงื่อนไขขอบอีกชนิดหนึ่งที่มีความคล้ายคลึงกันคือ เงื่อนไขขอบแบบพีริอดิกซึ่งเป็นการกำหนดให้ค่าของตัวแปรขาออกที่ขอบผนังบนมีค่าเท่ากับตัวแปรขาเข้าที่ขอบล่างของโดเมน ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาการไหลที่มีลักษณะการเกิดแบบซ้ำๆกันได้ ซึ่งผลเฉลยที่ได้จากการใช้เงื่อนไขเหล่านี้จะมีค่าเท่ากับผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณทั้งหมด นอกจากนี้การใช้เงื่อนไขเหล่านี้ยังทำให้สามารถเพิ่มความละเอียดในการคำนวณเพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เป็นการใช้เนื้อที่ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการไหลต่าง ๆ นั้น นอกจากจะขึ้นกับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขที่ขอบดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังขึ้นกับเงื่อนไขเริ่มต้น และลักษณะรูปร่างของปัญหา



รูปที่ 2-9 a) ลักษณะช่องการไหลที่สมมาตร b) รูปที่ใช้เงื่อนไขสมมาตรแล้ว
ที่มา : สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ (2545)

2.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคาร

การเกิดอนุภาคภายในอาคารอาจมีสาเหตุมาจากการแทรกซึมเข้ามาของอนุภาคจากภายนอกอาคาร การสูบบุหรี่ภายในบ้าน การทำอาหาร เป็นต้น โดยที่ความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารสามารถแบ่งได้เป็น

2.6.1 ความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารเนื่องมาจากการแทรกซึมเข้ามา จากภายนอกอาคาร

อนุภาคภายนอกอาคารสามารถเข้ามาในอาคารได้โดยการแทรกซึมผ่านผนัง ประตู และหน้าต่าง เป็นต้น โดยความสัมพันธ์ของอนุภาคภายในอาคารเนื่องมาจากภายนอกอาคารหาได้ดังสมการที่ (2.12) ในกรณีนี้จะกำหนดให้ความเข้มข้นของอนุภาคภายนอกอาคารคงที่ และสมมติให้อนุภาคที่เกิดขึ้นแหล่งกำเนิดภายในอาคารและการสูญหายของอนุภาคเป็นศูนย์ (Matson, 2005)

$$C_i = \frac{C_o \times \dot{v}}{\dot{v} \times rV} \quad (2.12)$$

เมื่อ C_i คือ ความเข้มข้นอนุภาคภายในอาคาร (particles/m³)

C_o คือ ความเข้มข้นอนุภาคภายนอกอาคาร (particles/m³)
 r คือ ค่าคงตัวของการเคลื่อนที่ของอนุภาค (1/h) หาได้จากสมการที่(2.13)

$\dot{v}$ คือ อัตราการไหลของอากาศ (m³ / h)

V คือ ปริมาตรห้อง (m³)

$$r = \frac{a - ((C_i / C_o)) \times a}{C_i / C_o} \quad (2.13)$$

เมื่อ a คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง เนื่องจากการแทรกซึมและการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (1/h) หาได้จากสมการที่ (2.14)

$$a = \dot{v} / V \quad (2.14)$$

2.6.2 ความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารที่มีแหล่งกำเนิดภายในอาคาร

อนุภาคที่มาจากแหล่งกำเนิดในอาคารอาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมที่ทำภายในอาคาร เช่น การทำอาหาร การสูบบุหรี่ภายในอาคาร หรืออาจมาจากวัสดุตกแต่งอาคาร นอกจากนี้การฟุ้งกระจายของอนุภาคจากพื้นอาคารอื่นเนื่องมาจากการเดิน การทำกิจกรรม ต่าง ๆ เช่นการทำความสะอาด ก็ล้วนแต่ทำให้เกิดอนุภาคภายในอาคารได้ทั้งสิ้น โดยค่าความเข้มข้นของอนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดภายในอาคารทั้งที่เกิดจากภายในและภายนอกอาคารสามารถหาได้จากสมการที่ (2.15) แต่สำหรับความเข้มข้นของอนุภาคภายในอาคารเพียงอย่างเดียวสามารถหาได้จากสมการที่ (2.16) โดยทำการสมมติให้อัตราการเกิดอนุภาคภายในอาคารอื่นเนื่องมาจากภายนอกอาคารและการสูญเสียของอนุภาคเป็นศูนย์ (Li and Chen, 2003)

$$\underbrace{V \frac{dC_i}{dt}}_{\text{Transient}} = \underbrace{aPVC_o}_{\text{Penetration}} + \underbrace{\dot{V}_{\text{source}}}_{\text{Indoor source}} + \underbrace{RL_{fl} A_{fl}}_{\text{Re suspension}} - \underbrace{aVC_i}_{\text{Airflow removal}} - \underbrace{KVC_i}_{\text{Deposition}} - \underbrace{\dot{V}_{\text{sink}}}_{\text{Other sinks}} \quad (2.15)$$

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของอนุภาคอยู่ในสภาวะคงที่ และไม่มี การสูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ จากสมการที่ (2.15) จะได้ว่า

$$0 = aPC_O + \frac{\dot{V}_{source}}{V} + \frac{RL_{fl}A_{fl}}{V} - aC_i - KC_i \quad (2.16)$$

$$(a + K)C_i = aPC_O + \frac{\dot{V}_{source}}{V} + \frac{RL_{fl}A_{fl}}{V} \quad (2.17)$$

$$C_i = \frac{aPC_O}{(a + K)} + \frac{\dot{V}_{source} + RL_{fl}A_{fl}}{(a + K)V} \quad (2.18)$$

เมื่อ	A_{fl}	คือ พื้นที่พื้น (m^2)
	C_i	คือ ความเข้มข้นอนุภาคภายในอาคาร ($\mu g/m^3$)
	C_o	คือ ความเข้มข้นอนุภาคภายนอกอาคาร ($\mu g/m^3$)
	K	คือ อัตราการตกตะกอนของอนุภาค (h^{-1})
	L_{fl}	คือ Mass Loading ของอนุภาคที่อยู่บนพื้น ($\mu g/m^2$)
	P	คือ สัมประสิทธิ์การแทรกซึมของอนุภาค
	R	คือ อัตราการฟุ้งกระจายของอนุภาค (h^{-1})
	t	คือ เวลา (h)
	$\dot{V}_{source}$	คือ อัตราการเกิดอนุภาคที่มีสาเหตุมาจากภายในบ้าน ($\mu g/h$)
	$\dot{V}_{sink}$	คือ อัตราการเคลื่อนตัวของอนุภาคเนื่องจากการสูญหายไปจากสาเหตุต่าง ๆ ($\mu g/h$)

2.7 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

เมื่อก้าวถึงสมมติฐาน (Hypothesis) ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท แต่โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงสมมติฐานของการวิจัย (Research Hypothesis, RH) สมมติฐานประเภทนี้ก็คือ การคาดการณ์ถึงผล ส่วนสมมติฐานอีกประเภทหนึ่งคือ สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis) ซึ่งมีไว้ใช้ในการทดสอบทางสถิติ สมมติฐานประเภทนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ซึ่งเขียนแทนด้วย H_0 และสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_1 สำหรับ H_0 จะเขียนอยู่ในรูปของการปฏิเสธหรือไม่มีความสัมพันธ์ ส่วน H_1 เขียนอยู่ในรูปของมีความสัมพันธ์ หรือมีความแตกต่าง ในการวิจัยนั้นผู้วิจัยจะต้องกำหนดสมมติฐานทั้ง 2 ประเภทไว้เสมอ เพียงแต่สมมติฐานทางสถิติไม่จำเป็นต้องเขียนไว้ก็ได้

ก. การกำหนดความผิดพลาดของการทดสอบประเภทที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะต้องทำการกำหนดระดับนัยสำคัญ α หรือระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ โดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ หรือ 0.01

ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือ $\alpha = 0.05$ หมายความว่า โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ในการทดสอบสมมติฐานมีอยู่ 5 เปอร์เซ็นต์ นั่นก็คือมีความเชื่อถือได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ($95 = 100 - 5$)

ในขณะเดียวกันระดับนัยสำคัญที่ 0.01 หรือ $\alpha = 0.01$ หมายความว่า โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ในการทดสอบสมมติฐานมีอยู่ 1 เปอร์เซ็นต์ นั่นก็คือมีความเชื่อถือได้ 99 เปอร์เซ็นต์ ($99 = 100 - 1$)

ข. การสร้างเขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 การสร้างเขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เป็นการหาค่าวิกฤต (Critical Value) ซึ่งเป็นค่าที่แบ่งเขตที่จะปฏิเสธหรือยอมรับ H_0 ค่าวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทการทดสอบ

ค. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากร แบบจับคู่ (Paired T- Test) การทดสอบความสัมพันธ์ หรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 ประชากร (μ) เช่น $\mu_1 - \mu_2$ โดยสุ่มตัวอย่างจากแต่ละประชากรอย่างเป็นอิสระกัน จะทำให้หน่วยตัวอย่างที่ได้มาจะมีอิทธิพลของปัจจัยอื่นรวมอยู่ด้วย

2.7.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ก. การตั้งสมมติฐานทางสถิติเพื่อการทดสอบ เป็นการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร โดยต้องมีทั้งสมมติฐานว่าง (H_0) และสมมติฐานแย้ง (H_1)

ข. การกำหนดสถิติทดสอบ

ข.1 การทดสอบค่าเฉลี่ยประชากร (μ) จะใช้สถิติทดสอบค่าเฉลี่ย

ข.1.1 ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ หรือขนาดตัวอย่างขนาดใหญ่ ($n \geq 30$) จะใช้สถิติทดสอบ z

ข.1.2 ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ หรือขนาดตัวอย่างขนาดเล็ก ($n < 30$) จะใช้สถิติทดสอบ t

ข.2 การทดสอบเกี่ยวกับค่าแปรปรวนประชากร (σ^2) สถิติทดสอบคือค่าแปรปรวนตัวอย่าง (S^2) โดยประชากรต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ปรับ S^2 เป็น ไคสแควร์

ค. คำนวณค่าสถิติทดสอบ

ง. กำหนดความผิดพลาดของการทดสอบประเภทที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ ผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดระดับนัยสำคัญ α หรือระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ โดยทั่วไปมักจะกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ หรือ 0.01

จ. . กาปฏิเสสมมติฐาน H_0 การสร้างเขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เป็นการหาค่าวิกฤต (Critical Value) ซึ่งเป็นค่าที่แบ่งเขตที่ปฏิเสธหรือยอมรับ H_0 ค่าวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทการทดสอบ

ฉ. การสรุปผลการทดสอบ จะพิจารณาโดยการเปรียบเทียบค่าสถิติทดสอบกับค่าวิกฤต

2.7.2. การทดสอบค่าเฉลี่ย แยกการทดสอบได้เป็น 3 วิธี คือ

ก. การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งกลุ่ม

การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร หนึ่งกลุ่ม เป็นการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้แตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ เช่นการทดสอบว่ารายได้เฉลี่ยของคนไทยเป็น 10,000 บาทหรือไม่ เป็นต้น ซึ่งก่อนเลือกใช้สถิติทดสอบใดจะต้องพิจารณาข้อตกลงเบื้องต้นก่อน คือ ข้อมูลที่ได้ต้องมาจากการสุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติและมีสถิติทดสอบดังนี้

- สถิติทดสอบ Z-Test กรณี ขนาดกลุ่มตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 30 หรือขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 จะต้องทราบค่าความแปรปรวนของประชากร (σ^2)
- สถิติทดสอบ T-Test กรณี ขนาดกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 30

ข. การทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระกัน

การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มที่ได้แตกต่างกันหรือไม่ เช่น การทดสอบว่ารายได้เฉลี่ยของคนไทยที่อาศัยในจังหวัดกรุงเทพฯแตกต่างจากจังหวัดใกล้เคียงหรือไม่ เป็นต้น ซึ่งก่อนการเลือกใช้สถิติทดสอบใดจะต้องเลือกใช้ข้อตกลงเบื้องต้นก่อน คือข้อมูลทั้งสองกลุ่มจะต้องมาจากการสุ่มและเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และมีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ ซึ่งจะเลือกใช้สถิติทดสอบดังนี้

- สถิติทดสอบ Z-Test กรณี ขนาดกลุ่มตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 30 หรือขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 จะต้องทราบค่าความแปรปรวนของประชากร (σ_1^2, σ_2^2)
- สถิติทดสอบ T-Test กรณี ขนาดกลุ่มตัวอย่างน้อยกว่า 30